

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЛАНДШАФТНА ЕКОЛОГІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять
та до виконання самостійної роботи з курсу

Київ–2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять

та виконання самостійної роботи з курсу

„Ландшафтна екологія”

для напряму підготовки: 6.040106

«Екологія, охорона навколишнього середовища

та збалансоване природокористування»

*Рекомендовано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»*

Протокол № 10 від 24 грудня 2012 р.

Методичні вказівки до проведення практичних занять та до виконання самостійної роботи з курсу «Ландшафтна екологія» для студентів напряму підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” / Укл. В.В. Вембер – 2012. – 60 с.

Укладач	<i>В.В. Вембер, к.б.н., с.н.с.</i>
Відповідальний редактор	<i>М.Д. Гомеля, д.т.н., проф.</i>
Рецензент	<i>Т.С. Тодосійчук, к.т.н., доц.</i>

Зміст

Вступ	4
Загальні методичні вказівки	7
Етапи самостійної підготовки студента до занять.....	7
Тематика практичних занять.....	9
Практична 1. Поняття вертикальної структури геосистеми. Геокomпонентна, геомасова, геогоризонтна вертикальні структури	9
Практична 2. Функціонування геосистеми. Потоки вологи, рух мінеральних речовин в геосистемах. Геохімія ландшафту. Ландшафтно-геохімічні бар'єри	15
Практична 3. Генетико-морфологічні територіальні структури	31
Практична 4. Позиційно-динамічна ландшафтно-територіальна структура	34
Практична 5. Рух антропогенних забруднень в ландшафті	37
Методика проведення ландшафтно-екологічних розрахунків та вирішення завдань	52
Список рекомендованої літератури	55
Додаток А.....	56
Додаток Б	57
Додаток В	60

ВСТУП

Дисципліна «Ландшафтна екологія» має забезпечити засвоєння студентами основ одного з сучасних напрямків екології. Даний предмет об'єднує положення географії та екології. Особлива увага приділяється питанням визначення властивостей геосистем та виділення ландшафтних територіальних структур; аналізу динаміки та стійкості ландшафтів до антропогенних навантажень.

Застосування саме ландшафтно-екологічних підходів під час комплексного екологічного моніторингу, екологічних експертиз, екологічного аудиту гарантує об'єктивність висновків та узагальнень. Інтеграція ландшафтних і екологічних методів досліджень і підходів у вивченні багатокomпонентних природних систем допомагає повніше розкрити особливості функціонування та динаміки екосистем, правильніше спрогнозувати розвиток тих чи інших природних або природно-техногенних процесів, особливостей формування взаємозв'язків між ними. У ландшафтній екології нині широко використовують синтез геосистемних і екосистемних підходів, а основними проблемами, які вивчаються, є: стійкість геосистем; нормування антропогенних навантажень на ландшафти та їхні компоненти, прогноз геоекономічних ситуацій.

Кожна з концепцій – гео- та екосистеми – має свої переваги: уявлення про геосистему більш наближене до природної реальності, а концепція екосистеми дуже зручна при вирішенні багатьох конкретних питань. А тому ландшафтна екологія в своїх дослідженнях використовує і полі- (геосистемний) і моно- (екосистемний) підходи. Причому, на відміну від екології, в центр екосистемної моделі можна ставити не тільки біотичні, а й інші компоненти.

Ландшафтній екології притаманний акцент на функціональному аналізі, реалізованому у дослідженні процесів, які там відбуваються. Тобто, геосистеми сприймаються насамперед не як деякі об'єми або території, специфічні за складом елементів та своєю будовою, а як об'єми та арени, насичені різними динамічними процесами, що взаємодіють між собою і з зовнішнім середовищем. За специфікою цих процесів і виділяються геосистеми.

На відміну від вчення про геосистеми та екологію, ландшафтна екологія досліджує природні системи не вище регіонального просторового рівня. Для неї характерна значна увага до впливу на геосистеми зовнішніх, особливо антропогенних, факторів. Порівняно з ландшафтним підходом ця наука сприймає й аналізує геосистеми як значно більше пов'язані з зовнішнім середовищем, «більш відкриті».

Суттєвою рисою ландшафтної екології є її орієнтованість на проблему взаємодії людини з природними системами. Центральні проблеми ландшафтної екології (стійкість геосистем, прогнозування, нормування антропогенних навантажень тощо) мають безпосередню прикладну спрямованість.

«Ландшафтна екологія» є спеціальним курсом, вивчення якого базується на знаннях з ґрунтознавства, біології, загальної екології, геології, біогеохімії.

Метою вивчення предмета є вироблення у студентів більш широкого погляду на поняття екосистеми і динамічні процеси в ній, викликані природними і антропогенними чинниками.

Внаслідок вивчення дисципліни студенти повинні **знати** :

- Ї вертикальну і горизонтальну структуру геосистем;
- Ї динамічні і міграційні процеси в геосистемі;
- Ї типи ландшафтних територіальних структур;
- Ї ландшафтно-екологічні фактори;

- показники стійкості геосистем до антропогенних впливів;
- рух природних та техногенних забруднень в різних ландшафтах.

Студенти повинні **у м і т и** :

- провести декомпозицію ландшафта;
- виділити ландшафтно-територіальні структури за різними показниками;
- визначити критерії для типології ландшафту;
- описати динамічні процеси в геосистемі;
- провести наукове впорядкування геосистем;
- оцінити природний потенціал геосистеми та її стійкість до антропогенних навантажень.

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Однією з найважливіших і найбільш активних дійових форм засвоєння усіх предметів є практичні заняття.

В сучасних умовах перед вищою школою України стоять великі і складні завдання щодо підвищення якості підготовки спеціалістів-екологів. В цьому плані роль практичних занять, які вчать студентів самостійно працювати, творчо мислити, розвивати певні практичні навички, давати оцінку явищам і подіям, ще більше зростає.

На практичних заняттях з «Ландшафтної екології» студенти мають нагоду навчитися самостійно вирішувати ряд складних та відповідальних завдань: проводити декомпозицію ландшафту; виділяти ландшафтно-територіальні структури за різними показниками; описувати динамічні процеси, що відбуваються в певних геосистемах; оцінювати природний потенціал геосистем та їхню стійкість до антропогенних навантажень і т.п. Саме такий тип практичної діяльності може призвести до засвоєння та систематизації великих обсягів інформації щодо вертикальної і горизонтальної структури геосистем; динамічних і міграційних процесів у, що відбуваються у її межах; типів ландшафтних територіальних структур; ландшафтно-екологічних факторів; показників стійкості геосистем і т.д.

Етапи самостійної підготовки студента до занять:

Прочитайте конспект відповідної лекції і матеріал підручника, звертаючи увагу на визначення та класифікаційні ознаки різноманітних систем та явищ. При вивченні намагайтесь встановити зв'язки між вже відомими Вам з вивчення інших курсів фактами та закономірностями та новою інформацією. Подібний підхід допоможе Вам легше та якісніше запам'ятовувати, а також полегшить аналіз сутності природних та техногенних явищ, які відбуваються в межах геосистем різного рангу.

Правильно зорієнтуватись допоможуть методичні вказівки до кожної теми. Вони уточнюють рамки кожної теми, суть поставлених питань і проблем, послідовність розгляду матеріалу. У них вказуються питання, на які слід звернути особливу увагу.

Основою для підготовки студента до занять є не лише підручники, але й довідники, географічні та геологічні карти та атласи, наукова та науково-популярна періодика і т.п. Не слід нехтувати також Інтернет-ресурсами, але до їх вибору слід підходити зважено, не користуючись сумнівною та неперевіреною інформацією, яка може виявитись недостовірною.

Для роботи на практичних заняттях необхідно підготувати спеціальну папку, куди складають усі карти, схеми, таблиці та описи, з якими студент працював протягом семестру. З усіма цими матеріалами слід приходити на залік, оскільки вони можуть використовуватись при опитуванні. Обов'язковою умовою допуску до заліку є виконані у повному обсязі та зараховані практичні роботи.

Програма курсу “Ландшафтна екологія” для студентів напряму підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” відводить на практичні заняття 9 годин, а на самостійну роботу – 45 годин. Основними елементами даного виду активності є: читання літератури і учбових посібників; аналіз та оцінка ландшафтно-екологічних процесів з позицій єдиного природно-територіального комплексу; рішення проблемно-пошукових завдань з питань запропонованих планами семінарських занять; підготовка повідомлень, виступів, доповідей, написання рефератів та виступи з ними на семінарах; участь в обговоренні важливих питань.

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практична 1 Поняття вертикальної структури геосистеми. (2 год.) Геокомпонентна, геомасова, геогоризонтна вертикальні структури

Мета заняття:

Ввести поняття вертикальної структури геосистеми; засвоїти основні способи декомпозиції геосистеми: за геокомпонентним, геомасовим та геогоризонтним способами; навчитись описувати вертикальну структуру певного природного ландшафту та охарактеризовувати усі геокомпоненти в його межах; навчитись визначати вертикальні межі геосистем.

Завдання для роботи:

- 1) Описати вертикальну структуру певного природного ландшафту (на вибір – степу, пустелі, лісу помірного або тропічного поясу, лісостепу, тундри та ін.).
- 2) Охарактеризувати усі геокомпоненти обраного ландшафту.

Методичні вказівки та теоретичні відомості

При аналізі вертикальної (топічної) структури геосистеми вважається, що вона однорідна у територіальному відношенні, але «по вертикалі» розкладається на різnorідні частини (рослинність – ґрунт – гірські породи – тощо або різні яруси рослинності – горизонти ґрунту – верстви гірських роді тощо), які пов'язані між собою певними відношеннями.

Геосистема є поліструктурною у вертикальному відношенні. Це означає, що в одній екосистемі можна виділити кілька вертикальних структур різних типів.

Оскільки внутрішньогосистемних зв'язків дуже багато, то можливо визначити деякі загальні типи вертикальних структур геосистеми. Така можливість ґрунтується на близькості багатьох процесів за їх фізичною суттю, характером перебігу, змінами геосистеми, які зумовлені цими процесами. З цієї точки зору всю множину внутрішньогосистемних зв'язків умовно можна поділити на такі типи: генетико-еволюційні; зумовлені потоком енергії та її трансформацією; зумовлені речовинними потоками (міграцією речовин); відношення тісного кореляційного або інформаційного зв'язку характеристик геосистеми.

Отже можна розрізняти принаймні три загальних підходи структуризації геосистеми та відповідно три типи її вертикальних структур:

- *геокомпонентний* (поділ вертикального розрізу геосистеми за компонентами природи і далі за їх генетично однорідними частинами);
- *речовинно-фазовий* (структурні частини виділяються як тіла, однорідні за фазовим станом, фізико-хімічними та іншими властивостями речовини);
- *просторово-об'ємний* (вертикальний профіль геосистеми поділяється на деякі однорідні шари, точніше - об'єми).

Елементи вертикальних структур геосистем залежать від типу, підходу структуризації геосистеми, від мети та детальності аналізу. Елементарним об'єктом системи може бути рослинність взагалі, певна екологічна група видів рослин, окремий вид і окрема рослина, і навіть її окремі морфологічні органи.

Основні способи декомпозиції.

І. Геокомпонентний спосіб. Традиційним для ландшафтознавства поділом геосистеми (ПТК) на складові частини є виділення в ній компонентів природи (геокомпонентів), кожний з яких є представником окремих геосфер, що складають географічну оболонку. Це гірські породи (представники літосфери), поверхневі та ґрунтові води (гідросфери), повітряні маси

(атмосфери), ґрунти (педосфери), рослинність, тварини, мікроорганізми (представники біосфери). Усі ці компоненти є матеріальними тілами. До геокомпонентів не належать рельєф і клімат (це не тіла, а їх властивості) та антропологічні об'єкти як тіла неприродного походження (враховуються як зовнішній по відношенню до геосистем фактор).

Геокомпонентами є тверді маси землі, повітряні маси атмосфери, поверхневі та ґрунтові води, ґрунти, рослинність, тварини, мікроорганізми. Вони складні тіла й мають свої власні властивості. Вважається, що вони займають проміжне положення між простими дискретними тілами (мінералами, газами, окремими організмами) та геосистемами.

У гірських породах окремими елементами є окремі літолого-стратиграфічні верстви, у ґрунті – його генетичні горизонти. Ґрунтові води розрізняють за шаром порід, які їх вміщують. Елементами рослинності та тваринного світу вважають окремі ценопопуляції, або навіть окремі вікові групи одного виду.

ІІ. Речовинно-фазовий (геомасовий) спосіб. Він використовується при аналізі потоків певних речовин, їх взаємопереходів та інших форм взаємодії, розглядається складна композиція речовин, різних за фазовим станом, фізичними властивостями, хімічним складом. Взаємодії між цими речовинами зумовлюють різні процеси в геосистемі (наприклад, продукційний, засолення ґрунтів тощо) і тому розглядаючи різні речовини як окремі елементи геосистеми можна досліджувати внутрішньогеосистемні зв'язки.

При речовинно-фазовій структуризації геосистеми геомаси слід розглядати як окремі компоненти її вертикальної будови, оскільки їх частини відрізняються за фізичними, хімічними та іншими показниками. Так, фітомаса представлена такими частинами як зелене листя рослин, корені, гілки та стовбури, генеративні органи тощо. Тому при детальному аналізі геосистем геомаси поділяються на елементи залежно від агрегатного складу,

функціонального призначення, хімічного складу та інших властивостей. Ступінь детальності поділу на елементи залежить від завдання ландшафтно-екологічного аналізу.

Крім цього геомаси поділяють на типи, роди і види. Типи геомас виділяються на основі відмінностей у функціональному призначенні в геосистемі, щільності та швидкості зміни в часі і переміщені в просторі. При диференціації на типи педомас (грунту) за основу прийнято відмінності в механічному складі: глинисті, суглинкові, піщані типи тощо. На роди їх поділяють за вмістом гумусу (високо-, середньо- та малогумусні). Види геомас поділяють з урахуванням метричних характеристик їх елементів (форми, розмірів, орієнтації тощо).

ІІІ. Просторово-об'ємний (геогоризонтний) спосіб. Геокомпоненти дають певне уявлення про ярусну будову геосистеми, але ці елементи накладаються один на одне, крім цього вони неоднорідні по вертикалі. У геосистемі визначають яруси, шари хорогоризонтів або біогеогоризонтів. Геогоризонт є комплексне утворення, в яке входять усі геомаси, що містяться в певному шарі геосистеми. Суттєвими ознаками при виділенні й характеристиці геогоризонтів є ландшафтно-геофізичні параметри: текстура, щільність, об'єм, колір та ін. Кожний геогоризонт стисло описується в індексній формі і його можна віднести до певного класу, типу, роду та виду. Генетичні горизонти змінюються протягом року, мінлива не тільки їх потужність, а й кількість (наприклад узимку щезає геогоризонт, основний об'єм якого складають листя).

Вертикальні межі геосистем. Вертикальні межі відокремлюють геосистему від її зовнішнього середовища, тобто від нижніх верст літосфери та верхніх шарів атмосфери. Залежно від мети аналізу геосистеми розрізняються й критерії виділення меж. Якщо геосистема досліджується як фізичний об'єм природної реальності її межами будуть деякі поверхні, при цьому треба чітко визначати їх глибину та висоту щодо земної поверхні.

Інколи, при аналізі схематизованої моделі склад елементів геосистеми задається заздалегідь і вертикальні межі визначаються самі собою.

На сьогодні прийнято вертикальні межі проводити по тому рівню, на якому щезають горизонтальні відмінності між геосистемами.

Характерні особливості **верніх меж** геосистем – це їх мінливість у часі залежно від пори року, погодних умов та стану розвитку фітоценозу, а також слабка вираженість цих меж зумовлена відкритістю геосистем у вертикальному напрямку. Фітокліматичними та стаціонарними дослідженнями геосистем встановлено, що їх вплив на значення метеоелементів сягає в 1,5-2 раз більшої висоти, ніж висота рослинного ярусу. Взимку вплив засніженої поверхні геосистеми на атмосферу набагато менший і загалом не перевищує кілька метрів. Ці орієнтири і приймають при визначенні верхніх меж геосистем топічного та хоричного рівнів, але треба пам'ятати, що це положення мінливе в часі і може змінюватися як протягом року так і доби.

При дослідженні біотичних процесів геосистеми, її продуктивності, за верхню межу можна прийняти межу верхнього рослинного ярусу (аерофітогоризонту); теж саме при дослідженні ґрунтових процесів, зокрема міграції та акумуляції різних речовин.

У **нижні межі** геосистем включають ті товщі гірських порід, які зумовили становлення даної геосистеми. Нижню межу геосистем при їх генетико-еволюційному аналізі проводять по гірських породах, які є субстратом формування сучасного рельєфу. В Україні це породи, які залягають під лесовою товщею (вапняки, середньо-верхньопліоценові глини тощо). Причому при генетико-еволюційному аналізі не обов'язково чітко встановлювати місцезположення нижньої межі, достатньо лише вказати, в якій саме верстві гірських порід вона знаходиться.

При аналізі міграційних потоків у геосистемі положення її нижньої межі визначається глибиною можливого проникнення мігруючої речовини.

Ця глибина залежить від хімічних властивостей речовини-мігранта, характеру зони аерації (її фільтраційних властивостей, наявності ландшафтно-геохімічних бар'єрів та ін.), глибини проникнення коренів рослин у ґрунт та інших факторів.

При балансових дослідженнях нижньою межею геосистеми вважають:

- для водного балансу – рівень ґрунтових вод;
- для теплового балансу – рівень, починаючи з якого зникає річна амплітуда температури ґрунту. Глибина його залежить від температуропровідності ґрунту та амплітуди температур на його поверхні (в Україні від 10 до 17-20 м);
- для колооберту органічної речовини – межа між геогоризонтами, які охоплюють процеси гуміфікації та де такі процеси вже не відбуваються. Частіше вона знаходиться у верхньому шарі ґрунтоутворюючої породи або між нею й материнською породою, хоча в окремих геосистемах корені рослин можуть досягати й більш глибоких шарів, а деякі гризуни й дощові черви здатні жити на глибині 60-70 м й далі.

Питання для самоконтролю

1. Які питання вирішує топічна ландшафтна екологія?
2. Сформулюйте концепцію множинності вертикальних структур в ландшафтній екології.
3. Дайте характеристику ландшафтно-геофізичних параметрів.

Практична 2 Функціонування геосистеми. Потoki вологи, рух мінеральних речовин в геосистемах. Геохімія ландшафту. Ландшафтно-геохімічні бар'єри
(2 год.)

Мета заняття:

Навчитися оцінювати функціональні характеристики геосистем, враховуючи наступні показники: потоки вологи, рух мінеральних речовин; ввести поняття про ландшафтно-геохімічні бар'єри; навчитися визначати транзитні та депонуючі середовища відповідного ландшафту та тип існуючих там ландшафтно-геохімічних бар'єрів.

Завдання для роботи:

- 1) Дати характеристику руху води, біогенних елементів, енергії і визначити повну трофічну структуру ландшафту обраного на Практичній 1.
- 2) Показати транзитні і депонуючі середовища ландшафту, визначити тип існуючих там ландшафтно-геохімічних бар'єрів.

Методичні вказівки та теоретичні відомості

Екзогенні геологічні процеси (механічне та хімічне вивітрювання, ерозійна та акумулятивна діяльність підземних вод та ін.) формують різноманітні мезо- та мікроформи рельєфу та елементарних ділянок, які відрізняються взаємним розташуванням (частина схилу, підніжжя тощо), відносною висотою, експозицією, крутизною та формою схилів. В одному й тому ж ландшафті відбувається перерозподіл сонячної енергії, вологи, мінеральних речовин за розташуванням, в результаті взаємодії біоценозу з абіотичними компонентами конкретного розташування формується

елементарний географічний комплекс – фація, яка розглядається як однородна геосистема та неподільна фізико-географічна одиниця території.

Розмір цієї одиниці території (фації) залежить від різних факторів, наприклад ступінь уклону схилу, кількість снігу й відповідно ступінь зволоженості та інші фактори. Так на південних схилах всі фази розвитку рослин починаються раніше ніж на північних й швидше проходять. Крім цього фактором внутріландшафтної диференціації може бути ріюча діяльність тварин, які сприяють формуванню мозаїчного ґрунтового-рослинного покриву.

Отже за морфологічною будовою ландшафт може поділятися на різну кількість ступенів: фація – підурочище – урочище – місцевість, або тільки фація та урочища, тобто ландшафти дуже різноманітні за ступенем складності внутріландшафтної диференціації.

Схема формування вертикальної структури ландшафту

1. Абіотична стадія

Формування вертикальної структури починається з нуль-моменту, тобто появи наземного твердого абіотичного субстрату. Цим моментом може бути вихід території з під рівня моря, звільнення від льодяника, покриття поверхні вулканічною лавою та ін. Такі геосистеми мають найпростішу вертикальну структуру, в якій немає біологічних компонентів.

Надходження мікроорганізмів з атмосфери або з поверхневими водами починає формування й поступове зростання вмісту органічної речовини у верхньому шарі гірських порід. Стає можливим зростання мхів, лишайників, а потім через деякий час й вищих рослин. Популяційна структура первинних рослинних групіровок проста й цілком визначається фізико-хімічними особливостями субстрату, а також видовим складом рослин сусідніх геосистем. Конкурентні та інші біотичні відношення виражені слабо.

2. Біотична стадія

Починається з моменту виникнення фітоценозу. Характерно:

- інтенсифікація гумусоутворення,
- заселення тваринами та формування зооценозу,
- значна швидкість сукцесійних змін ґрунту, рослинності та мікробіоценозів,
- стабілізація рельєфоутворюючих процесів, значна трансформація ґрунтового шару атмосфери (у зв'язку із зростанням транспірації).

Зміни та зв'язок між геокомпонентами значно ускладнюється. Однобічні відносини змінюються на двобічні. Так, розвиток ґрунту починає залежати не лише від властивостей ґрунтових порід, атмосфери та ґрунтових вод, а й від популяційного складу й продуктивності рослинних угруповань. В свою чергу зміна ґрунту обумовлює зміну рослинності та тваринного населення (особливо ґрунтової фауни), мікробіоценозів та навпаки. Зростає самостійність розвитку окремих геокомпонентів в процесі еволюції. Так, спочатку клімат та субстрат завдавали основного впливу на рослинні угруповання, а в подальшому більшого значення набувають між- та внутривидова конкуренція, симбіоз та інші процеси, популяційний склад біоценозів все більше залежить від цих процесів. Теж саме відбувається із ґрунтом, зменшується залежність від материнської породи та клімату. В одних кліматичних умовах, на одному й тому типі ґрунту формуються різні рослинні угруповання, різні ґрунти на одній геологічній породі.

Але вплив одного геокомпонента на інший (наприклад ґрунту на рослинність) визначає діапазон змін рослинності, з якого вони не можуть вийти. Наприклад, на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах не можуть формуватися букові ліси, типчаково-ковиловий степ, а також різні асоціації лісів.

Антропогенні аспекти

Втручання людини у процес розвитку ландшафта призводить до конфліктності еволюційно обумовлених відношень між його компонентами. Наприклад, з природно-еволюційної точки зору зовсім не характерні відношення між дерново-підзолистими ґрунтами та злаковою сільськогосподарською рослинністю (більш характерно для цих ґрунтів зв'язок із змішаними або хвойними лісами). Існування агроценозів можливо лише завдяки їх щорічному відновленню людиною. Якщо припиняється культивування агроценозу, відбувається поступове відновлення еволюційних процесів у геосистемі, й природний фітоценоз відновлюється.

Господарська діяльність людини може призвести й до більш глибокій трансформації внутригеосистемних зв'язків, які стосуються водного режиму, рельєфоутворюючих процесів. Й навпаки, бажання припинити будь-який зв'язок із зовнішнім оточенням може призвести до руйнування у геосистемі генетико-еволюційних відносин. Так, в степових геосистемах еволюційно склалися відносини між рослинними та тваринними угрупованнями, при яких нормальному існуванню рослинності обов'язково потрібні зв'язки з тваринами. Заповідання степових геосистем у режимі повного виключення стравлення та косіння призводить до досить швидкої деградації рослинних угруповань, аж до випадання едифікаторних видів. Тому щоб підтримати заповідні степи в близьких до природних станах, необхідно ввести режим стравлений, близький до природно-еволюційного.

Врахування генетико-еволюційних відношень у геосистемах має значення для конструювання стійких і ефективних ландшафтів. Так, на цьому принципі має базуватися оптимальний підбір порід дерев для інтродукції, обґрунтування екологічно безпечних сівозмін тощо.

Основним джерелом енергії для багатьох процесів у геосистемі є сонячна. Порівняно з нею енергії до геосистеми від інших джерел надходить

дуже мало (теплової енергії з надр Землі - 0,04% сумарної сонячної радіації, тектонічних рухів - 0,0005 %). При цьому сонячна енергія і використовується в геосистемі найбільш ефективно: вона здатна трансформуватися в інші види енергії (теплову, хімічну, механічну), завдяки їй відбувається продукування біомаси, вологообіг, циркуляція повітряних мас тощо.

На верхню межу атмосфери надходить $2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$ сонячної енергії. Проходячи крізь атмосферу, вона послаблюється атмосферними газами та пилом. При цьому ступінь послаблення залежить від довжини хвилі (частоти) світла. З екологічної точки зору, найбільш важливими обставинами диференційованого послаблення випромінювання є дві: 1) ультрафіолетове випромінювання (найбільш небезпечне для протоплазми) практично не проходить крізь озоновий шар, що й забезпечує можливість життя на планеті; 2) менше всього послаблюється видиме світло, що необхідне для фотосинтезу, а тому він може відбуватись і в похмурі дні.

Сумарна радіація складається з прямої та розсіяної. Співвідношення між ними залежить від географічного положення геосистеми, хмарності та інших кліматичних факторів. Частина сумарної радіації, досягаючи геосистеми, витрачається на ефективне випромінювання в атмосферу та відбивається поверхнею геосистеми. Величина останнього потоку визначається характером поверхні геосистеми (її альбедо) і суттєво змінюється в різних умовах: у дібровах - 0,14-0,17, степах - 0,20-0,23, на солончаках - 0,35, засніженій поверхні - до 0,95.

Альбедо слід розглядати як інтегральний параметр вертикальної структури геосистеми, який визначає потік відбитої радіації з неї як з деякого нерозчленованого цілого. Насправді ж потік сонячної радіації, проходячи від верхньої межі геосистеми до поверхні ґрунту, значно змінює свою інтенсивність, спектральний склад та інші характеристики. Ці зміни визначаються геогоризонтною вертикальною структурою геосистеми,

особливо потужністю та часткою геомас листя в окремих аерофітогоризонтах.

Ефективне випромінювання та відбита радіація втрачаються для геосистеми, а та частина сумарної радіації, що безпосередньо йде на різні процеси в геосистемі, називається її радіаційним балансом. Більша його частина витрачається на випаровування (фізичне і транспірацію) та на турбулентну віддачу атмосфері, тобто на забезпечення вологообігу та прогрівання повітря геосистеми.

Витрати тепла на фотосинтез становлять дуже малу частку радіаційного балансу - в середньому 1,3 %. Проте її роль у геосистемі надзвичайно велика, бо власне вона зумовлює продукційний та інші важливі біотичні процеси. При фотосинтезі використовується фотосинтетичне активна радіація - ФАР, частка якої становить близько 45 % сумарної (40 % прямої та 62 % розсіяної). Рослинний покрив поглинає 90% світлової енергії ФАР, проте переважна його частина йде на транспірацію та регулювання температури рослин і лише 0,5-1,5% - на фотосинтез. Ефективність фотосинтезу визначається гідротермічними умовами геосистем. Найбільша вона за максимальної теплозабезпеченості при оптимальному співвідношенні тепла й вологи. Такі природні умови характерні для екваторіальних лісів, де ефективність фотосинтезу досягає 4,5 % ФАР, або 1,5 % сумарної радіації. У штучних умовах можна довести ефективність фотосинтезу до максимальної - 34 % ФАР.

Енергія P , що пішла на забезпечення реакції фотосинтезу, витрачається на дихання рослин P_b (близько 50 %), а решта становить чисту первинну продукцію P_a - накопичення енергії в рослинній біомасі. З цієї енергії деяка її частина P_m з відмиранням рослин або їх окремих органів переходить до мортмаси, частина P_i залишається у фітомасі й зумовлює її щорічний приріст, частина Z разом з фітомасою, що поїдається тваринами, переходить до наступного трофічного рівня. Співвідношення між цими статтями

енергетичних витрат залежить від багатьох факторів. З них особливо важливі видовий склад рослинного угруповання, вікова структура популяцій, їх екологічний стан, характер господарського використання, чисельність та популяційний склад тваринного населення біоценозу.

Енергія Z , що надходить з фітомасою до травоядних тварин, і частково йде на потреби самих цих тварин, а частково переходить до тварин-хижаків. Ці тварини, в свою чергу, поїдаються хижаками вищих порядків, а відтак передають частину енергії їм. Так формується трофічна структура геосистеми. В екології саме зелені рослини формують перший трофічний рівень - рівень продуцентів (або автотрофів); травоядні тварини (зайці, олені тощо) - другий рівень (первинних консументів, або гетеротрофів 1-го порядку); хижаки - третій (рівень - вторинних консументів, або гетеротрофів 3-го порядку) і так далі. Оскільки потік енергії від одного трофічного рівня до вищого супроводжується її втратами (до 95 %), кількість трофічних рівнів не може бути необмеженою і лише в енергетичне багатих екосистемах може досягати 5-6 (екваторіальні ліси, морські планктонні екосистеми).

У реальних геосистемах трофічні відношення набагато складніші. Виділяються види, які живляться одночасно на кількох рівнях (наприклад, сови; лисиці, що поїдають не тільки, дрібних ссавців, а й плоди рослин); види, що час від часу змінюють свій рівень (наприклад, із зміною пір року, або в процесі старіння); види, особини яких можуть поїдати одна одну (особливо це розвинуто у павуків та риб), і навіть є рослини, які поводяться як гетеротрофи, «поїдаючи» деяких тварин (венерина мухоловка, сарраценія, росичка). Тому більш реалістичне зображення потоку енергії між організмами на основі не трофічних рівнів, а трофічних ланцюгів (синонім—ланцюгів живлення) - графів, вершинами яких є популяції, а орієнтованими ребрами - потоки енергії, що передається з їжею від однієї популяції до другої, яка цією популяцією може житись.

Практично будь-який аспект діяльності людини в геосистемі призводить до зміни у ній інтенсивності енергетичних потоків. Причому змінюються величина та співвідношення не тільки внутрішньогеосистемних потоків, а й вхідних та вихідних. Через забруднення атмосфери аерозолями дещо збільшується відбита радіація, тому до геосистем може надходити менше сумарної радіації. Так, смог здатний зменшити її на 30-40 %. У потоці сумарної радіації збільшується частка розсіяної, що призводить до деякого нівелювання експозиційних відмінностей геосистем схилів.

Зміни вертикальної структури геосистеми, пов'язані із зведенням природної рослинності, призводять до трансформації трофічної структури геосистем, а відтак - і потоків енергії між біотичними елементами. Найсуттєвішими тут є щорічні втрати енергії, накопичені геосистемою у фітомасі. Внаслідок цього зменшується; потік енергії, який надходить до детритного циклу - основи процесу продукування гумусу. Загалом трофічна структура агрогеосистем сильно спрощується, інтенсивність потоків енергії від продуцентів до первинних консументів значно зменшується, а сама сітка цих потоків стає менш розгалуженою. Це, зумовлює низьку стійкість агрогеосистем порівняно з природними.

За основним джерелом надходження енергії екосистеми поділяють на: природні, що отримують енергію тільки від Сонця; природні, що отримують енергію від Сонця та додаткову енергетичну субсидію від інших природних джерел (заплав, схилів, прибережні частини естуаріїв, маршів, конуси виносу тощо); антропізовані, що отримують енергію від Сонця та додаткову субсидію від людини (найбільш типові - агроекосистеми); промислово-міські системи, що отримують енергію палива (урбоекосистеми, індустріальні зони).

За кількістю енергії, яку отримує геосистема, розрізняються такі геосистеми: мегатермні (радіаційний баланс 80 ккал/см^2 на рік, поширені в екваторіальній зоні); макротермні (50-70, поширені в тропіках); мезотермні (50-70, суб- і середземномор'я); субмезотермні (40-50, неморальна зона);

субмікро-термії (30-40, суббореальна зона); мікротермні (20-30, бореальна зона); нанотермні (20 ккал/см² на рік, поширені в суб- та арктичній зонах). Ці градації радіаційного балансу орієнтовні. Не слід вважати, що всі геосистеми певної термозони відносяться тільки до одного енергетичного типу. Оскільки надходження енергії до геосистеми залежить від експозиції та стрімкості схилу і деяких інших місцевих факторів, в одній ландшафтній зоні трапляються геосистеми різних енергетичних типів.

За ступенем поглинання сонячної радіації рослинним покривом (перехопленням світла фітогеогоризонтами та ступенем освітленості поверхні ґрунту) геосистеми можна поділити на геліоморфні (геосистеми лише з трав'яним покривом чи позбавлені його); субгеліоморфні (чагарники, рідколісся); семігеліоморфні (світло-хвойні, дрібнолисті ліси); сціоморфні (зімкнені темнохвойні та широколисті ліси). Від типу затіненості геосистеми суттєво залежать видовий склад, продуктивність, конкурентні відношення та. деякі інші ознаки нижніх фітогеогоризонтів.

Потоки води у вертикальному профілі геосистеми мають величезне значення як для її окремих елементів, так і для забезпечення зв'язків між ними. Цілісність геосистеми багато в чому зумовлена потоками води, які пронизують її подібно до кровоносної системи. Водні потоки забезпечують міграцію хімічних елементів, транспортування поживних речовин до рослин, продукційні процеси тощо. Вода - один з основних лімітуючих екологічних факторів і від її кількості в геосистемі, збалансованості потоків залежать численні властивості геосистеми, що визначають її потенціал. При незбалансованих потоках у геосистемі відбувається прогресуюча гідроморфізація (при додатньому балансі) або ксерофітизація (при від'ємному).

Волога до геосистеми надходить з атмосферними опадами, за рахунок конденсації водяної пари, а також з підземними водами (якщо вони зв'язані

крізь гідравлічні вікна з ґрунтовими), поверхневим стоком (якщо геосистема розташована на схилі), з річковими водами під час повені та паводків (якщо геосистема розташована на заливній заплаві).

Надходячи до геосистеми, дощові води частково затримуються фітогеогоризонтами (цей процес називають інтерцепцією). Перехоплена листям волога лише в мізерних частках засвоюється ним, деяка частина води (5-20 %) стікає по стовбурах, а основна маса випаровується, а відтак не бере участі ні в транспірації, ні в зволоженні ґрунту (так звана інтервенційна втрата). Розмір цієї втрати залежить від інтенсивності та тривалості опадів, сумарної листяної поверхні фітогоризонтів.

З ґрунту волога поглинається коренями рослин. Це поглинання тим інтенсивніше, чим більша всмоктуюча поверхня кореневої системи та чим легше входять у контакт корені та ґрунтова волога. Активна поверхня коренів у трав'янистих рослин становить приблизно $1 \text{ см}^2/\text{см}^3$, а в дерев - $0,1 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Контакт коренів з вологою ґрунту визначається його механічним складом: найгірший він у глинистих ґрунтах, найкращий у піщаних.

Надходження води до рослин залежить також від температури ґрунту, оскільки вона впливає на всмоктуючу здатність коренів і на їх ріст. З теплих ґрунтів рослини витягують воду легше, ніж з холодних, а при зниженні температури до кількох градусів вище нуля більшість рослин поглинати воду нездатна.

Надходячи до рослини, вода з кореня транспортується до її транспіруючих поверхонь. Залежно від фізіологічних та анатомічних особливостей рослин швидкість цього потоку різна. Найбільша вона в ліан (150 м/год) та трав'янистих рослин (10-60), а у хвойних складає в середньому 1,2 м/год.

У рослині дуже незначна частина вологи витрачається на фотосинтез, а основна її частина (97 % і більше) випаровується (транспірується). Величина та інтенсивність транспірації залежать не тільки від надземної фітомаси, а й

від едафічних факторів, особливо від освітленості, сухості повітря, вітру. Проте, чітка залежність транспірації від цих факторів існує лише до того часу, поки відкриті продихи рослин. При нестачі вологи рослини, закриваючи продихи, регулюють витрату вологи. Так, при повністю закритих продихах хвойні дерева здатні зменшити транспірацію на 97 %, листяні - на 80-90, трави - на 70-85 %.

Потоки вологи в геосистемі відзначаються високою чутливістю до дії антропогенних факторів. З цим пов'язана можливість їх регулювання людиною, що й робиться при водних та агролісомеліораціях. Проте через недостатнє врахування складних закономірностей структури водних потоків у геосистемах меліорація часто призводить до небажаних або й катастрофічних екологічних наслідків.

Розроблені критерії виділення типів водного режиму ґрунту, які мають ландшафтно-екологічний зміст. Базуючись на них, геосистеми *за типом водного режиму* поділяються на такі: промивного режиму (низхідні потоки вологи переважають над висхідними, і вода, що просочується крізь ґрунт, досягає рівня ґрунтових вод); періодично промивного режиму (атмосферна вода досягає рівня ґрунтових вод в окремі багатоводні роки, в середньому один раз на 10-15 років); непромивного режиму (ґрунтові геогоризонти промочуються, але вода не досягає рівня ґрунтових вод); аридного режиму (ґрунтовий профіль сухий протягом цілого року); випітного режиму (переважають висхідні потоки вологи з ґрунтових вод, капілярна кайма яких піднімається до поверхні ґрунту і ґрунтові води випаровуються фізично); десуктивно-випітного режиму (на відміну від попереднього типу, капілярна кайма ґрунтових вод не виходить на поверхню, і їх витрата здійснюється не за рахунок фізичного випаровування, а через транспірацію); водозастійного режиму (характерний для боліт); паводкового режиму (характерний для заплав річок).

За співвідношенням статей водного балансу (річною сумою опадів та сумарним випаровуванням) виділяються такі геосистеми: гіпергумідні (різниця між річними опадами та випаровуванням становить 1600 мм і більше); пергумідні (800-1600); гумідні (400-800); субгумідні (0-400); субаридні (-400-0); мезоаридні (-400-800); аридні (-800-1600); екстрааридні .(-1600 мм і менше). Ця градація співвідношення річних опадів та випаровування в цілому відповідає діапазонам гідрокліматичних факторів, що визначають певний напрям зонального ґрунтоутворення та формування біомів. Геосистеми України належать до гумідного (лісова зона), субгумідного (лісостеп) та субаридного (степ) типів.

За збалансованістю водного балансу є такі геосистеми: із збалансованим балансом (у річному циклі водний баланс дорівнює нулю); додатньо-декомпенсованого балансу (прихідні статті водного балансу переважають над витратними, внаслідок чого рівень ґрунтових вод піднімається); від'ємно-декомпенсованого балансу (витратні статті переважають над приходними, рівень ґрунтових вод знижується).

Хімічні елементи, що складають географічну оболонку, по-різному проявляють себе в геосистемах. Це стосується як їх мас у геосистемі, так і особливостей поведінки - міграції, між елементами вертикальної структури, здатності включатися в круговороти, поглинатися рослинами тощо.

Мінеральні речовини, що надійшли до геосистеми, можуть знайтись у вигляді її резервного фонду або здійснювати круговорот у її вертикальному профілі. Резервний фонд становлять речовини, що знаходяться у нерухомих формах, а також легкодоступні речовини, накопичені в геосистемі в надмірних кількостях, через що вся їх маса не може бути охоплена круговоротом.

Роль води як фактора міграції речовин полягає не тільки в її мобільності в геосистемі. У її водному середовищі відбувається переважна більшість хімічних реакцій.

Практично в усіх геосистемах у вертикальній структурі виділяються суміжні геогоризонти, які значно відрізняються один від одного за умовами. Тут різко змінюються умови міграції різних речовин - одні з них випадають з розчину і концентруються, інші мігрують менш інтенсивно і накопичуються частково, треті не реагують на зміну умов міграції. В геохімії ландшафту місця, де різка зміна умов міграції призводить до накопичення елементів, називаються *ландшафтно-геохімічними бар'єрами*. Залежно від параметрів, значення яких різко змінюються на бар'єрі, виділяють їх різні типи.

Бар'єри, що розміщені в ґрунті нижче його кореневмісного шару, в екологічному плані можуть відігравати позитивну роль - токсичні елементи, що тут накопичуються, рослинами споживатися не можуть і водночас цей бар'єр перешкоджає досягненню токсичними елементами ґрунтових вод, лімітуючи їх забруднення. Такий бар'єр виконує функцію консерватора («кладовища») забруднень у геосистемі. Натомість бар'єри, розташовані в межах кореневмісного шару ґрунту, можуть бути вкрай небезпечними для рослин.

Важливим фактором міграції речовин у геосистемі є життєдіяльність рослин. Встановлено, що практично всі хімічні елементи, що містяться в географічній оболонці необхідні рослинам і споживаються ними. З них незамінні лише деякі: N, P, K, S, Ca, Mg {макроеlementи - споживаються у великих кількостях} та Fe, Mn, Zn, Si, Mo, B та Cl (мікроеlementи - споживаються у менших кількостях).

З атмосфери надземні органи рослин засвоюють мінеральні речовини в дуже незначних кількостях, а основна їх маса поглинається з ґрунту. Потрапивши до кореня, іони переносяться до інших органів рослин. Це перенесення потребує витрат енергії, джерелом якої є дихання рослин, тому

інтенсивність поглинання ними мінеральних речовин визначається едафічними факторами дихання (оптимальним температурним режимом, освітленістю, співвідношенням між вологістю та аерацією ґрунту тощо).

Більша частина мінеральних речовин, накопичена фітоценозом протягом року, повертається до ґрунту з річним опадом. Ця кількість може становити 80-90 % річної маси накопичених рослинами речовин. Завдяки цьому рослинність виконує в геосистемі важливу роль у замиканні потоків мінеральних речовин (їх організації у круговорот).

Геосистеми за *типом круговороту мінеральних елементів* можна розділити на азотні низькозольні застійні (розвинуті в тундрі), кальцієво-азотні середньозольні сильно загальмованого обороту (поширені в хвойних та дрібнолистих лісах), азотно-кальцієві середньозольні загальмованого обороту (широколисті ліси), азотно-кремнієві середньозольні інтенсивного обороту (степи), натрієво-хлоридні дуже високозольні дуже інтенсивного обороту (солончаки) та інші типи, включаючи й такі, що враховують токсичні техногенні елементи, залучені до круговороту (наприклад, Sr-90 в соснових лісах біля Чорнобиля).

В основі продукційного процесу лежить фотосинтез. При ньому хімічно з'єднуються дві неорганічні сполуки - CO_2 та H_2O і утворюється органічна речовина - глюкоза. Внаслідок численних біохімічних реакцій глюкоза перетворюється в різні цукри, жири та целюлозу - основний матеріал, з якого складаються стінки рослинних клітин. Крім CO_2 та води, рослини для синтезу органічних речовин використовують і інші мінеральні речовини. Процес створення фітомаси можна зобразити у вигляді суммарного рівняння.

Наявність світла та сприятлива температура

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{мінеральні речовини} = \text{фітомаса} + \text{кисень} + \text{транспірована вода}$

Фотосинтез суттєво залежить від багатьох ландшафтно-екологічних факторів. З них найбільше значення мають: світло, температура, вода,

поживні речовини в ґрунті. Крім інтенсивності світла, фотосинтез залежить і від тривалості освітлення - чим вона вища, тим більше продукується фітомаси.

Утворена фітомаса (чиста первинна продукція) далі розподіляється між елементами геосистеми за схемою, аналогічною до потоків енергії по трофічній сітці. Продуктивність геосистем та розподіл продукції між окремими ланками трофічної структури досить суттєво змінюються залежно від ландшафтно-екологічних умов.

Відтворення гумусу - не менш важлива ланка продукційного процесу в геосистемі, ніж продукування біомаси. Основним джерелом його формування є рослинний опад, екскременти тварин та клітини мікроорганізмів. Швидкість та характер гуміфікації залежать від багатьох ландшафтно-екологічних факторів. З них найбільше значення мають кількість та склад рослинних решток, режим вологості та аерації ґрунту, його кислотність, видовий склад мікроорганізмів та інтенсивність їх діяльності, мінералогічний та механічний склад ґрунту тощо.

З перетворенням природних геосистем у агрогеосистеми пов'язані суттєві зміни особливостей усіх ланок продукційного процесу. Продуктивність агроценозів здебільшого нижча від природних фітоценозів, що були на їх місці. Це пояснюється тим, що поля щорічно розорюються і ґрунт буває оголеним на початку та в кінці вегетативного періоду, коли природні екосистеми продовжують створювати продукцію. Один вид не може використовувати ресурси зовнішнього середовища з такою самою ефективністю, як це робить суміш видів з різними екологічними вимогами, що властиве природним рослинним угрупованням. На врахуванні цієї закономірності ґрунтується перспективний підхід до підвищення продуктивності агроценозів: одновидові посіви сільськогосподарських рослин замінити на дво- та багатовидові з диференційованими екологічними нішами та амплітудами.

Інтенсивне ведення сільського господарства пов'язане з низкою прямих та побічних вкрай небажаних в екологічному плані наслідків. Насамперед це виснаження ґрунту, його алелопатичне втомлення (накопичення продуктів виділення коренів рослин), забруднення ґрунту, а через нього - і ґрунтових вод та самої сільськогосподарської продукції залишковими продуктами розпаду, пестицидів, нітратами, іншими сполуками, руйнування трофічної структури геосистем та нагромадження, в її ланках токсичних елементів тощо.

Формування гумусу, в агрогеосистемах практично повністю позбавлене його найважливішого ресурсу - рослинного опаду. Внесення органічних добрив здебільшого не компенсує цієї втрати, тому після розорювання степів, лісів, луків йде інтенсивна дегуміфікація ґрунтів. Так, до розорювання степів переважали чорноземи з вмістом гумусу 7-10%, то зараз таких ґрунтів не залишилось, і домінують чорноземи, гумусу в яких не більше 5 %. Від незбалансованого внесення і розкладу органічної речовини щорічно чорноземи втрачають гумусу 0,3-0,8 т/га, а з ерозією — ще 0,4-1,2 т/га.

За величиною продуктивності (чистої первинної продукції) геосистеми поділяють на непродуктивні (фітомаса не створюється - скелі, піщані пляжі тощо), низькопродуктивні (1-5 т/га), зниженої продуктивності (5-10), середньопродуктивні (10-15), підвищеної продуктивності (15-20), високопродуктивні (20-30), дуже високопродуктивні (більше 30 т/га на рік).

Питання для самоконтролю

1. Поверхневий та ґрунтовий стік, величина та причини їх зміни.
2. Фактори внутрішньо-ландшафтної диференціації.

Практична 3 Генетико-морфологічні територіальні структури

(1 год.)

Мета заняття:

Навчитись визначати основні рівні генетико-морфологічної однорідності за геоморфологічними особливостями рельєфу.

Завдання для роботи:

- 1) Розмалювати карту генетико-морфологічної ландшафтно-територіальної структури.

Методичні вказівки та теоретичні відомості

Основою виділення одиниць генетико-морфологічної ЛТС є об'єднання територіально суміжних геотопів у більші геосистеми за принципом спільності їх походження (генезисом), часу виникнення та закономірностей розвитку. Діагностичними геокомпонентами для виділення геосистем такої ЛТС є геологічна будова, ґрунт, рослинність, ґрунтові води та рельєф.

Так, рельєф дозволяє виділити 5 основних рівнів генетико-морфологічної однорідності за геоморфологічними особливостями:

1. **Макрогеохора (ландшафт)** – найбільша з геосистем хоричної розмірності та найменша з регіональних. Макрогеохора займає територію, що складається з комплексу мезоформ рельєфу близького генезису та віку, утворених на одному геологічному фундаменті (одному субстраті формування рельєфу). Однорідність її ґрунтово-рослинного покриву визначається зональними факторами, тому на рівнинах представлені ґрунти одного типу ґрунтоутворюючого процесу та асоціації одного класу рослинних формацій. Генетичні ряди ґрунтів та сукцесійні рослинних

угруповань не створюють у макрогеохорі єдиної системи, а сходяться до кількох центрів, кожний з яких є центром певної мезогеохори. В одній макрогеохорі не може бути двох мезогеохор, однакових за геолого-геоморфологічними критеріями, але різних за видом ґрунту або рослинною асоціацією, які відіграють роль центрів різних сукцесійних схем. Навіть, на території дуже однорідній щодо геолого-геоморфологічної будови, можна виділити кілька макрогеохор — за числом зональних клімаксових асоціацій та модельних видів ґрунтів. Така ситуація характерна для Причорноморської низовини, більша частина якої однакова в геологічному та геоморфологічному відношеннях, але за регіональними закономірностями сукцесії рослинних угруповань та ґрунтів поділяється на 9 макрогеохор.

2. **Мезогеохора (місцевість)** — представлена одною формою мезорельєфа (гряди, річкові долини з терасовим комплексом, дельтовий комплекс тощо) спільного походження, з ґрунтовими водами одного водоносного горизонту, ґрунтами та рослинними угрупованнями, ряди яких сходяться до одного центру. Ґрунтово-рослинний покрив у мезогеохорі має не класифікаційну, а динамічну (сукцесійну) єдність. Вона зумовлена одним мезокліматом, який формується в мезогеохорі завдяки її відповідності одній мезоформі рельєфу. Остання разом з кліматом визначає й загальні закономірності гідрогеологічного режиму та режиму поверхневого стоку, тому в мезогеохорі хоч і можуть бути геотопи різного типу водного режиму, переважає один з них або кілька близьких. Мезогеохори займають досить значні площі (0,5—2,0 тис. км²) і є зручними одиницями регіонального управління та проектування, оскільки співрозмірні з адміністративно-управлінськими територіальними одиницями нижчих рангів (територіями агровиробничих підприємств, муніципалітетами, районами тощо). Порівняно з геохорами нижчих рангів, у них значно більше проявляються індивідуальні риси території. Зважаючи на це, а

також на чітку фізіономічну вираженість та динамічну єдність мезогеохор, їх контури часто приймаються за одиниці ландшафтно-екологічного районування,

3. **Мікрогеохора (урочище)** – сукупність суміжних наногеохор, розташованих на одному елементі рельєфу або одній його малій формі, геологічна будова різниться лише за потужністю літолого-генетично близьки поверхневих відкладів, водний режим одного типу, хоча різниця може бути у рівні ґрунтових вод, ґрунти формують основний генетичний ряд, рослинні угруповання утворюють один головний сукцесійний ряд з короткими відгалуженнями від нього. Різми мікрогеохор можуть бути великі, фізіономічно вони здебільшого виражені чітко, територіальна структура у генетичному відношенні досить однорідна,
4. **Наногеохора (підурочище)** – представлена одним елементом рельєфа або його малою формою (неглибоко врізана лощина, промоїна тощо), геобудова відрізняється лише потужністю верхніх ґрунтоутворюючих порід, водний режим одного типу, ґрунти одного генетичного ряду, рослинні угруповання одного сукцесійного ряду. Розміри наногеохор невеликі – в межах 0,2-0,5 км², середнє число геотопів в одній наногеохорі – від 3 до 5. Межі між геотопами малоконтрасні, фізіономічно виражені слабо, мають вигляд перехідних смуг,
5. **Геотоп (фація)** представлена частиною елемента мезорельєфа.

Питання для самоконтролю

1. Навести приклади територіальних структур.
2. Що є основою виділення одиниць генетико-морфологічної ЛТС?

Практична 4 Позиційно-динамічна ландшафтно-територіальна (1 год.) структура

Мета заняття:

Засвоїти особливості групування геотопів у територіальні одиниці позиційно-динамічної ЛТС; ввести поняття: каркасні лінії динаміки ландшафту, ландшафтна смуга, ландшафтні яруси, парадинамічний район.

Завдання для роботи:

- 1) Розмалювати карту позиційно-динамічної ландшафтно-територіальної структури.

Методичні вказівки та теоретичні відомості

Позиційно-динамічна ЛТС.

Групування геотопів у територіальні одиниці позиційно-динамічної ЛТС ґрунтується на їх відношенні до ландшафтних рубежів, вздовж яких змінюються інтенсивність та напрямок горизонтальних речовинно-енергетичних площинних потоків. Носіями цих потоків можуть бути мобільні геокомпоненти — вода, повітря та живі організми. Разом з ними відбувається міграція й інших речовин, зокрема техногенних забруднень.

Біогенні горизонтальні потоки мають риси територіальної впорядкованості. Вітропотік мінливий за напрямком, може здійснювати величезну роботу в ландшафті, проте через мінливість його напрямку стійкі зв'язки між геотопами здебільшого не формуються, тобто він не може бути структуро-формуючим. Горизонтальні ж потоки води в ландшафті стійкі за напрямком і здатні односпрямованими зв'язками інтегрувати геотопи в територіальні структури.

Територіальні одиниці позиційно-динамічної ЛТС виділяють так, щоб інтенсивність сучасних та потенційно можливих процесів, зумовлених горизонтальними речовинно-енергетичними потоками на них, була майже однаковою. Тому межі між ними проводять вздовж ліній стрибкоподібної зміни градієнтів горизонтальних потоків. Такі лінії називають *каркасними лініями динаміки ландшафту*. Ними є всі каркасні лінії рельєфу — вододільна, тальвегу, підосви, бровки схилу, лінії його перегинів. Роль каркасних ліній динаміки ландшафту відіграють також межі між геотопами, що відрізняються фільтраційними властивостями ґрунтів та порід зони аерації. Вздовж цих меж різко змінюється інтенсивність фільтрації води та умови міграції хімічних елементів. Фільтраційні каркасні лінії часто збігаються з каркасними лініями рельєфу.

Межі між ґрунтами з різною протиерозійною стійкістю також приймаються за каркасні лінії динаміки ландшафту. Протиерозійна стійкість ґрунту—складна функція, яка залежить від генетичного виду ґрунту, його механічного складу, вмісту гумусу інших властивостей. Серед типів ґрунтів, поширених на Україні, найбільше піддаються змиву опідзолені ґрунти Полісся, а більш стійкими виявляються чорноземи типові та звичайні.

У сучасному ландшафті роль каркасних ліній відіграють також і деякі антропогенні лінійні елементи, вздовж яких змінюються параметри стоку (дороги на насипу, канали, лісосмуги тощо).

Таким чином, роль каркасних ліній динаміки ландшафту відіграють:

- каркасні лінії рельєфу (водороздільні, бровки схилу, підосви тощо),
- межі між геотопами, що відрізняються фільтраційними властивостями ґрунту та порід зони аерації,
- межі між ґрунтами з різною протиерозійною здатністю,
- деякі антропогенні елементи, вздовж яких змінюються параметри стоку (дороги, насип, канали, лісосмуги).

Елементи структури та їх типи.

Ландшафтна смуга — це група геотопів, які мають спільне положення відносно меж зміни інтенсивності горизонтальних речовинно-енергетичних потоків (розташовані між двома суміжними каркасними лініями динаміки ландшафту). У межах однієї ландшафтної смуги горизонтальні потоки односпрямовані і в усіх геотопах мають однаковий градієнт. Внаслідок цього геотопи однієї смуги ідентичні за набором, інтенсивністю та іншими параметрами сучасних ландшафтних процесів, пов'язаних з площинним стоком, латеральною геохімічною міграцією, а деякою мірою і з ґрунтовим стоком.

Морфологія рельєфу значною мірою визначає особливості поверхневого стоку і тому за нею ландшафтні смуги доцільно поділяти на рівнинні, схиліві, терасові, заплавні та інші морфологічні типи. На схилі за його частиною доцільно виділяти смуги верхньоприбровочні, середньо- та нижньосхиліві; за стрімкістю схилу - пологі, слабкопохилі, похилі, відносно стрімкі та стрімкі; за формою схилу - прямі, слабкоувігнуті, слабкоопуклі.

Якщо між двома суміжними каркасними лініями рельєфу пролягає межа між породами з різними фільтраційними властивостями, то вона приймається й за межу між ландшафтними смугами (в ландшафтно-геохімічному відношенні така межа є латеральним геохімічним бар'єром). Важливою ознакою ландшафтної смуги є також однорідність її ґрунтів у протиерозійному відношенні та характером мікрорельєфу.

Ландшафтні яруси — одиниці позиційно-динамічної ЛТС, які складаються з групи територіально суміжних, пов'язаних односпрямованими горизонтальними потоками ландшафтних смуг. Ландшафтні яруси відрізняються не тільки висотним положенням, а насамперед набором ландшафтно-екологічних процесів. Межі між окремими ярусами рельєфу (поверхнями вирівнювання або рівновисотними комплексами форм рельєфу) часто збігаються з тектонічними межами (лініями розломів, насувів тощо), а також кліматичними та біогеографічними. У сукупності це зумовлює чітку

ярусну диференціацію практично всіх геокомпонентів та сучасних фізико-географічних процесів

Ландшафтні яруси пов'язані між собою горизонтальними потоками. За односпрямованістю цих потоків їх об'єднують у вищу одиницю позиційно-динамічної ЛТС - *парадинамічний район*. Це сукупність ландшафтних ярусів, пов'язаних горизонтальними потоками, які починаються від спільного «центрального місця» — ярусу, що займає панівне висотне положення. Від цього ярусу радіально розходяться потоки, які об'єднують у єдину динамічну систему схилів, терасові, заплавні та інші ландшафтні яруси.

Питання для самоконтролю

3. Навести приклади територіальних структур.
4. Порівняти способи опису ЛТС.

Практична 5 Рух антропогенних забруднень в ландшафті

(3 год.)

Мета заняття:

Узагальнити та систематизувати знання, отримані протягом попередніх занять; ознайомитись з методиками оцінки стійкості ландшафту до антропогенно-техногенного навантаження; познайомитись з особливостями міграції хімічних елементів в зоні гіпергенезу.

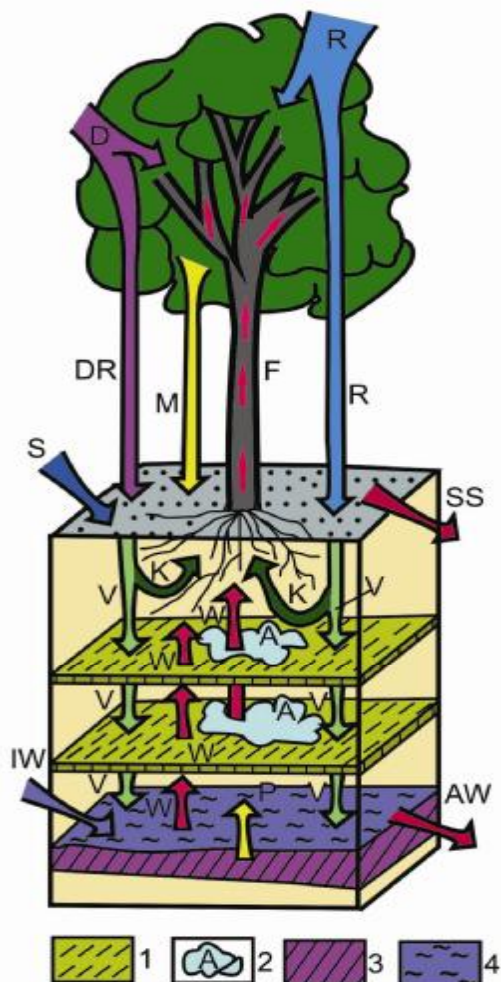
Завдання для роботи:

- 1) На карті місцевості визначити місця транзиту і акумуляції забруднень.

Методичні вказівки та теоретичні відомості

Хімічні елементи, що становлять географічну оболонку, по-різному проявляють себе в геосистемах. Це стосується як їх мас у геосистемі, так і особливостей поведінки – міграції між елементами вертикальної структури, здатності включатися в круговороти, поглинатися рослинами тощо. Кожний елемент в екосистемі має власну поведінку. Проте виділяються деякі загальні закономірності потоків різних речовин у геосистемах, тому й існують загальні підходи до їх дослідження.

Як видно з загальної схеми потоків мінеральних речовин у геосистемі (М.Д.Гродзинський, 1993):



1 – ландшафтно-геохімічні бар'єри; 2 – мінеральні речовини, що нагромаджуються на бар'єрі; 3 – осадові галогенні породи; 4 – водоносний горизонт з мінералізованими породами. R – надходження речовин з атмосферними опадами; D – надходження речовин з пилом; DR – вимивання дощами речовин, затриманих листяною поверхнею; P – розчинення солей осадових галогенних порід; S – надходження речовин з поверхневим стоком; IW – надходження речовин з боковим притоком ґрунтових вод; AW – винесення речовин з боковим притоком ґрунтових вод; M – мінеральні речовини опаду; V – низхідний потік речовин з водним розчином; K – поглинання речовин коренями рослин; F – транспортування речовин рослиною; A – нагромадження речовин на ландшафтно-геохімічних бар'єрах; W – висхідний потік речовин з водним розчином; SS – внесення речовин поверхневим стоком

основні вхідні потоки речовин до геосистеми надходять з атмосферними опадами R та пилом D за рахунок вивітрювання первинних мінералів

гірських порід W, розчинення солей осадових порід S, у результаті господарської діяльності A.

З атмосферними опадами на поверхню Землі щорічно потрапляє 1800 млн т, або 12 т/км², розчинних речовин, а на територію України – 7,3 млн т, або 12,1 т/км². Найбільше цим шляхом надходить сірки (до 2,6 т/км² у південних районах України), трохи менше – кальцію та азоту:

Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами, т/км² за рік

Регіони	Ca	Mg	Na+K	HCO₃	SO₄	Cl	Усього
<i>Полісся</i>	0,8	0,9	1,4	2,7	6,1	1,2	13,1
<i>Лісостеп</i>	1,1	0,8	1,2	2,9	6,1	1,1	13,2
<i>Степ</i>	0,9	0,6	0,9	1,6	4,3	1,2	9,5
<i>Прикарпаття</i>	1,5	1,5	1,8	2,9	9,7	1,6	19,0
<i>Карпати</i>	2,4	2,2	2,8	4,7	15,0	2,8	29,9
<i>Закарпаття</i>	1,7	1,6	1,9	8,3	10,6	1,9	21,1
<i>Гірський Крим</i>	1,5	1,1	1,3	4,1	4,2	1,6	13,8
Україна в цілому	0,9	0,8	1,1	2,4	5,6	1,3	12,1

За рахунок осаду з атмосфери пилу до геосистем щорічно надходить до 10 т/км² речовин, а в промислових регіонах – в десятки разів більше.

Утворення легкорозчинних солей при вивітрюванні первинних мінералів – процес, що відбувається в усіх геосистемах, але дуже повільно. Надходження ж до геосистем солей внаслідок розчинення солей осадових порід може бути значним у регіонах, де породи галогенної формації залягають близько до поверхні. В Україні такими регіонами є Прикарпаття та Закарпаття, Дніпровсько-Донецька западина, Донбас та інші, де значно поширені соляні відклади (купольні структури, штоки тощо).

Мінеральні речовини, що надійшли до геосистем, можуть знаходитись у вигляді її резервного фонду або здійснювати круговорот у її вертикальному профілі. Резервний фонд становлять речовини, що знаходяться у нерухомих

формах, а також легкодоступні речовини, накопичені в геосистемі в надмірних кількостях, через що вся їх маса не може бути охоплена круговоротом. Речовини резервного фонду частково поповнюються за рахунок мігруючих речовин і також можуть включатися в міграційні процеси. Ці процеси зумовлені двома основними факторами: потоком води та її властивостями як хімічної речовини (гідрогенезом); синтезом та розчиненням органічної речовини (біогенезом).

Роль води як фактора міграції речовин полягає не тільки в її мобільності в геосистемі. У її водному середовищі відбувається переважна більшість хімічних реакцій. Потік води у вертикальному профілі геосистеми супроводжується процесами розчинення, вилужування, іонного обміну, адсорбції, в результаті чого хімічні елементи та сполуки певних геомас переходять до водного розчину і далі переміщаються з ним. Внаслідок випаровування вологи, кристалізації, сорбції та інших гідрогенних процесів з водного розчину випадають мінеральні речовини, акумулюючись у певних геомасах або геогоризонтах. Нарешті, практично тільки з водним розчином мінеральні речовини з ґрунту можуть потрапити до рослин і далі взяти участь у біогенній міграції по трофічній сітці геосистеми.

Фізико-хімічні, термодинамічні та інші умови геогоризонту, крізь який проходить потік водного розчину, визначають ступінь рухомості кожного з хімічних елементів та їх сполук. Практично в усіх геосистемах у вертикальній структурі виділяються суміжні геогоризонти, які значно відрізняються один від одного за цими умовами. Тут різко змінюються умови міграції різних речовин – одні з них випадають з розчину і концентруються, інші мігрують менш інтенсивно і накопичуються частково, треті не реагують на зміну умов міграції. В геохімії ландшафту місця, де різка зміна умов міграції призводить до накопичення елементів, називаються *ландшафтно-геохімічними бар'єрами* (термін ввів О.І. Перельман). Залежно від параметрів, значення яких різко змінюються на бар'єрі, виділяють їх різні

типи. При цьому на кожному з типів бар'єрів накопичується характерна асоціація хімічних елементів (додаток Б). У різних геосистемах кількість та склад ландшафтно-геохімічних бар'єрів неоднакові. Так, у лісових геосистемах України переважають кислі та глейові бар'єри, степових – лужні, випаровувальні та ін.

З ландшафтно-екологічної точки зору, крім типу бар'єру, важливо враховувати і його місцезнаходження у вертикальній структурі геосистеми. Так, бар'єри, розміщені в ґрунті нижче його кореневмісного шару, в екологічному плані можуть відігравати позитивну роль – токсичні елементи, що тут накопичуються, рослинами споживатися не можуть, і водночас цей бар'єр перешкоджає досягненню токсичними елементами ґрунтових вод, лімітуючи їх забруднення. Такий бар'єр виконує функцію консерватора («кладовища») забруднень у геосистемі. Натомість бар'єри, розташовані у межах кореневмісного шару ґрунту, можуть бути вкрай небезпечними для рослин.

Напрямок гідрогенних потоків речовин у геосистемі відповідає напрямку потоку вологи. При переважанні низхідних потоків води речовини можуть виноситися за межі ґрунту і досягати рівня ґрунтових вод. Внаслідок цього розсолюються ґрунти, підвищується мінералізація ґрунтових вод, а при інтенсивних потоках вологи в піщаних ґрунтах зростає дефіцит поживних речовин. Проте частіше хімічні елементи накопичуються на бар'єрах у педогеогоризонтах та в зоні аерації. При висхідних потоках води внаслідок фізичного випаровування ґрунтових вод вміст солей у ґрунті та підґрунті зростає, що призводить до засолення геосистем.

Важливим фактором міграції речовин у геосистемі є життєдіяльність рослин. Встановлено, що практично всі хімічні елементи, що містяться в географічній оболонці, необхідні рослинам і споживаються ними. З них незамінні лише деякі: N, P, K, S, Ca, Mg (макроелементи –

споживаються у великих кількостях) та Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B та Cl (мікроелементи – споживаються у менших кількостях).

З атмосфери надземні органи рослин засвоюють мінеральні речовини в дуже незначних кількостях, а основна їх маса поглинається з ґрунту. Корінь здобуває мінеральні речовини шляхом: поглинання іонів з ґрунтового розчину; обмінного поглинання сорбованих іонів (віддає іони H^+ та HCO_3^- , а замість них отримує іони поживних солей); розчинення зв'язаних запасів мінеральних речовин (виділяючи органічні кислоти, корінь вивільняє з хімічно зв'язаного стану елементи, зокрема важкі метали, і потім легко поглинає їх). Потрапивши до кореня, іони переносяться до інших органів рослин. Це перенесення потребує витрат енергії, джерелом якої є дихання рослин, тому інтенсивність поглинання ними мінеральних речовин визначається едафічними факторами дихання (оптимальним температурним режимом, освітленістю, співвідношенням між вологістю та аерацією ґрунту тощо).

Фітоценозом протягом року поглинається значна маса мінеральних речовин:

**Залучення елементів до біологічного круговороту, кг/га за рік
(за Т. І.Євдокимовою, Т. Л. Бистрицькою, 1976)**

Геосистеми	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Тундрові та лісотундрові</i>	21,7	2,8	8,4	8,6	3,0	1,4
<i>Тайгові</i>	87,3	8,0	22,6	38,0	6,0	6,0
<i>Лісостепові, природний степ</i>	130	14,0	93,0	108,0	21,6	11,2
<i>Лісостепові, рілля</i>	117	16,1	104,0	51,7	18,4	9,2
<i>Степові, природний степ</i>	208	–	27,0	127,0	36,0	15,0
<i>Степові, рілля</i>	80	14,0	30,0	30,0	6,0	4,0

З неї частина F залишається в річному прирості фітомаси (для широколистих лісів ця величина становить 70-120 кг/га), частина F_z разом з фітомасою, що поїдається первинними консументами, переходить до наступного трофічного

рівня і далі мігрує по трофічній сітці аналогічно потокам енергії. Частина мінеральних елементів з фітоценозу надходить до атмосфери внаслідок транспірації Т з хімічними виділеннями рослин (фітонцидами) Ph та з пилом К. З досліджень, проведених біля Валдайського озера, відомо, що ліс південної тайги за рік перекачує в атмосферу близько 8 т/км^2 речовин, при цьому з пилом – $0,47 \text{ т/км}^2$.

Більша частина мінеральних речовин, накопичена фітоценозом протягом року, повертається до ґрунту з річним опадом Z. Ця кількість може становити 80-90 % річної маси накопичених рослинами речовин. Завдяки цьому рослинність виконує в геосистемі важливу роль у замиканні потоків мінеральних речовин (їх організації у круговорот). Це дає змогу геосистемі неодноразово протягом року використовувати мінеральні речовини в продукційному процесі та утримувати їх від вимивання в корененедосяжні педогеогоризонти.

Антропічні аспекти. Забруднення та самоочищення геосистем. З розрахунків мас хімічних елементів, які щорічно залучаються до техногенних потоків, відомо, що з 60-х років XX ст. геохімічна діяльність людини за потужністю не поступається природним процесам. За рахунок цієї діяльності поверхня суші щорічно збагачується на мільйони тонн P, Ti, Cu, Mn, Zn, Pb та інших елементів, на десятки тисяч тонн Rb, H, Zr. Основні джерела надходження забруднень до геосистем – атмосфера, внесення добрив та обробка агрогеосистем пестицидами та отрутохімікатами, забруднені підземні води, захоронені в ґрунті та породах зони аерації техногенні речовини, зрошення стічними та забрудненими річковими водами.

Потрапляючи до атмосфери, забруднюючі речовини (це 90 % газів і 10 % твердих частинок) досить швидко розсіюються. Середня тривалість знаходження газів у тропосфері становить 2-4 місяці, аерозолів – 4 місяці біля тропосфери, 1 місяць у верхній та 6-10 діб у нижній тропосфері. Ці дані

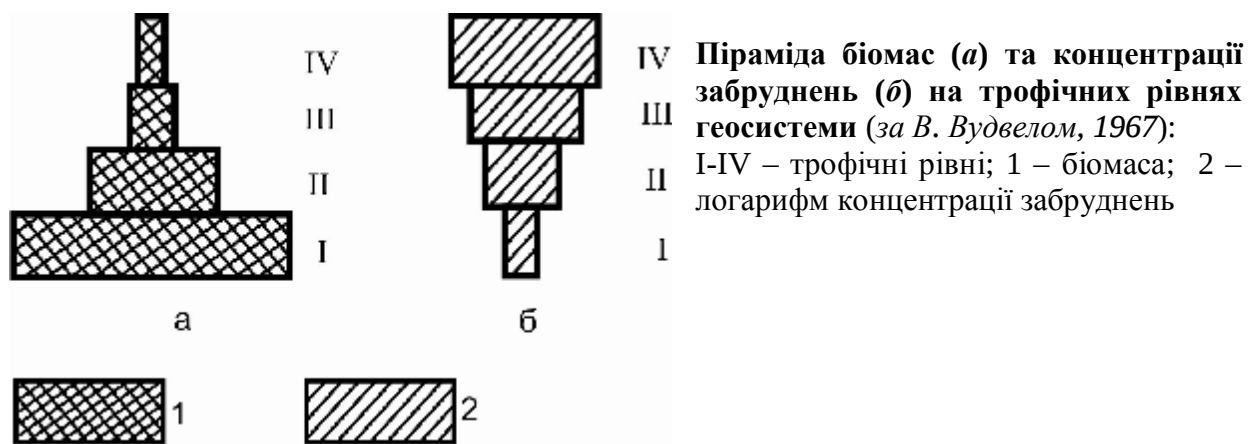
слід розглядати як орієнтовні, оскільки тривалість перебування викидів в атмосферу визначається багатьма метеорологічними умовами, які дуже мінливі в просторі й часі. Атмосферні забруднення можуть проникати в рослини внаслідок їх газообміну, осаду на поверхні листя та пагонах. При тривалій дії навіть невисоких концентрацій забруднень у рослин виникають хронічні пошкодження (депресія фотосинтезу, порушення росту, відмирання клітин тощо). Різні рослини неоднаково реагують на атмосферні забруднення. Найбільш чутливі до них лишайники, з дерев – ялина (до дії HF, SO₂, HCl), сосна (до HF, NH₃, SO₂), горіх (HF, NH₃), береза (HCl). Стійкими вважаються туя, деякі види дубів, кленів, граб.

Чутливість рослин до атмосферних забруднень залежить від едафічних факторів. Встановлено такі основні закономірності: *температура* – з її підвищенням чутливість рослин дещо зростає; *вологість повітря* – в діапазоні 30-60% чутливість рослин зростає слабо, понад 60% – різко; *вологість ґрунту* – чим вологіший ґрунт, тим чутливість більша, проте сукулентні галофіти на цей параметр практично не реагують; *наявність поживних елементів у ґрунті* – рослинність бідних, особливо піщаних ґрунтів чутлива до атмосферних забруднень, чим вищий у ґрунті вміст N, P, K та CaCO₃, тим чутливість менша; при нестачі в ґрунті певного елемента стійкість рослин до атмосферного забруднення менша.

Потрапляючи на поверхню ґрунту, забруднюючі речовини включаються у вертикальні потоки і при цьому можуть значно трансформувати їх налагоджений механізм. Це пов'язано з тим, що багато забруднюючих речовин здатні руйнувати деякі важливі ландшафтно-геохімічні бар'єри, створювати нові, змінювати тип тих, які були раніше, внаслідок зміни кислотно-лужних або окиснювально-відновних властивостей ґрунту змінювати і швидкість міграції різних речовин. Проходячи крізь ґрунт, забруднені води можуть частково або й повністю очищуватись, проте сам ґрунт при цьому забруднюється. Хімізм цього забруднення та

вертикальний розподіл акумульованих речовин залежить від типу ландшафтно-геохімічних бар'єрів та їх місцезонавання в геосистемі.

Будь-яку забруднюючу речовину, що потрапила до ґрунту, можуть поглинати живі організми. З рослин-автотрофів, які акумулюють забруднюючі речовини, починається забруднення всієї трофічної сітки геосистеми. Накопичення токсичних речовин у живих організмах збільшується з кожним наступним трофічним рівнем :



Тому навіть незначна концентрація забруднюючих речовин у рослинах може викликати токсикацію тварин вищих трофічних рівнів.

Завдяки живим організмам забруднення залучається до круговороту мінеральних речовин, і виведення їх з геосистеми ускладнюється. Однак геосистеми мають певні механізми, що дозволяють їм знешкодити забруднення або вивести їх з круговороту та з геосистеми взагалі. Сукупність цих механізмів називається *самоочищенням геосистем*.

Самоочищення геосистем може реалізовуватись у трьох групах процесів: винесення забруднень за межі геосистем ґрунтовими водами, вітром та з урожаєм; зв'язуванням забруднень у важкодоступні (зокрема нерозчинні) форми, так що їх споживання живими організмами стає практично неможливим; розкладання токсичних речовин на сполуки та елементи, які не є небезпечними для живих організмів.

Як умовну форму самоочищення геосистеми можна також вважати концентрацію забруднень на ландшафтно-геохімічних бар'єрах, які розташовані між ґрунтовим профілем та капілярною каймою ґрунтових вод (у так званому «мертвому горизонті»). Тут забруднюючі речовини можуть накопичуватися в легкорозчинній формі і в значних кількостях, але при цьому вони нешкідливі ні для рослин, ні для ґрунтових вод. Для коренів рослин забруднюючі речовини недосяжні, а проникнення їх до ґрунтових вод блокується ландшафтно-геохімічним бар'єром та (або) непромивним водним режимом геосистеми.

Типологія. Оскільки міграція мінеральних речовин визначається багатьма факторами і призводить до різноманітних наслідків, типізувати геосистеми за особливостями речовинних потоків можна за багатьма ознаками.

За хімічним складом особливе значення має типологія геосистем за елементами, які мають високий вміст (кларк) у геосистемі та енергійно мігрують і накопичуються в ній, визначаючи умови міграції й інших речовин. У геохімії ландшафту такі елементи називаються типоморфними і до них належать Н, Fe, Al, Ca, Na, Mg, HCO_3 , SO_4 , H_2S , Cl та ін. За переважаючою роллю певного типоморфного елемента або їх групи виділяються відповідні типи геосистем, наприклад: кислі (Н), кислі глейові (Н-Fe) – поширені у хвойних лісах; кальцієві (Ca), кальцій-натрієві (Ca-Na) – в степах; натрієві (Na), хлоридно-натрієві (Cl-Na) – в геосистемах степових западин та подів із солончаками тощо.

За типом круговороту мінеральних елементів можна розділити на: азотні низькозольні застійні (розвинуті в тундрі); кальцієво-азотні середньозольні сильно загальмованого обороту (поширені у хвойних та дрібнолистих лісах); азотно-кальцієві середньозольні загальмованого обороту (широколисті ліси); азотно-кремнієві середньозольні інтенсивного обороту (степи); натрієво-хлоридні дуже високозольні дуже інтенсивного обороту

(солончаки) та інші типи, включаючи й такі, що враховують токсичні техногенні елементи, залучені до круговороту (наприклад, Sr-90 в соснових лісах біля Чорнобилю).

Потоки та акумуляція мінеральних речовин у геосистемах багато в чому визначаються ландшафтно-геохімічними бар'єрами, тому інформативною буде типологія геосистем за *складом та місцеположенням ландшафтно-геохімічних бар'єрів* у їх вертикальній структурі. За цими критеріями виділяються такі типи геосистем: безбар'єрні; фітобар'єрні (лісові геосистеми з високим індексом листяної поверхні); ризо-педобар'єрні (геосистеми, ландшафтно-геохімічні бар'єри яких містяться в межах кореневмісного шару ґрунту); педобар'єрні (бар'єри знаходяться у ґрунті нижче кореневої системи); літобар'єрні; комплексно-бар'єрні (наприклад, фіторизобар'єрні, педо-літобар'єрні тощо).

Більшість геосистем належать до комплексно-бар'єрного типу.

Антропогенний і техногенний вплив на ландшафт здатен викликати деградацію його компонентів або їхніх сполук (руйнування або суттєве порушення природних екологічних зв'язків, що зумовлюють обмін речовин та енергії у межах геоекосистеми). Деградація структури ландшафту загалом – крайній ступінь зміни структури ландшафту, що виявляється у суцільній втраті здатності відповідної території виконувати відновні функції. Суцільна деградація ландшафту починається з деградації одного компонента і поступово охоплює всі інші. Найчастіше негативні зміни ландшафту починаються з деградації ґрунтів.

Вплив антропогенних чинників на ландшафти багатоплановий.

За обсягом викидів одне з перших місць посідають автотранспорт і теплоенергетика, поставляючи в атмосферу продукти згорання викопного палива (вугілля, нафти, газу) і їхніх похідних (мазуту, бензину та ін.). Основні забруднювачі – оксиди вуглецю й азоту, сірчистий ангідрид, пил,

нафтопродукти, токсичні важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, цинк та ін.) і поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).

Особливо високі концентрації важких металів у викидах і осадах очисних споруд гальванічних виробництв, де концентрація кадмію, вісмуту, олова і срібла в тисячі, а свинцю, міді, хрому, цинку і нікелю – в сотні разів вища за кларки літосфери. Високими кларками концентрації характеризуються також підприємства з переробки кольорових металів, машинобудівні і металообробні заводи, інструментальні цехи, пил яких вирізняється найширшою асоціацією забруднювачів – до них належать вольфрам, сурма, кадмій, ртуть (тисячі КК*), свинець, вісмут, олово, мідь, срібло, цинк і миш'як (сотні і десятки КК). Окремі виробництва мають свої специфічні забруднювачі (зварювання і виплавлення спецсплавів – марганець; переробка брухту кольорових металів – миш'як; металообробка – ванадій; виробництво нікелевого концентрату – нікель, хром, кобальт; алюмінію – алюміній, берилій, фтор та ін.).

Нафтопереробна, нафтохімічна промисловість поставляє в довкілля головним чином газоподібні сполуки (оксиди азоту, вуглецю, діоксид сірки, вуглеводні, сірководень, хлористі і фтористі сполуки, феноли та ін.), вміст яких іноді в десятки і сотні разів перевищує їхні гранично допустимі концентрації (ГДК) в атмосфері. Деякі хімічні виробництва, окрім газів, поставляють в середовище багато мікроелементів (коксохімічне виробництво — ртуть — $n \cdot 1000$ КК; лакофарбні виробництва – ртуть, кадмій – $n \cdot 1000$ – $10\,000$ КК; виробництво синтетичного каучуку – Сг – $n \cdot 100$ КК).

Будіндустрія відрізняється загалом меншими концентраціями хімічних елементів у відходах. Серед підприємств будівельних матеріалів

* КК – кларк концентрації

Кларк концентрації (за В. І. Вернадським) — відношення усередненого вмісту хімічного елемента у родовищі або будь-якому об'єкті природи (мінералі, породі, руді, організмі) до кларку цього елемента у земній корі. Характеризує міру його концентрації (або розсіювання) в цьому об'єкті чи природному процесі. Кларки концентрації кожного елемента варіюють в тисячі разів, а при формуванні руд і рудних мінералів — іноді в мільйон разів.

великим техногенним навантаженням на середовище вирізняються цементна промисловість, виробництво вогнетривкої цегли і теплоізоляційних виробів, в пилу яких є сурма, свинець, срібло, іноді ртуть.

За ступенем концентрації і комплексом хімічних елементів-забруднювачів комунально-побутові відходи (побутове сміття, каналізаційні осади, мули міських очисних споруд) не поступаються промисловим відходам.

Звалища також є вторинними джерелами забруднення довкілля. На деяких з них за багато років накопичуються великі маси різноманітних побутових, а іноді і промислових відходів. Ґрунти звалищ і фільтрати у десятки і сотні разів порівняно з фоновими ґрунтами збагачені цинком, міддю, оловом, сріблом, свинцем, хромом та іншими елементами. Розвіювання матеріалу звалищ і просочування стоків ведуть до забруднення навколишніх ґрунтів, поверхневих і підземних вод.

За законами техногенної міграції забруднення одного з компонентів ландшафту впливає на хімічний стан усіх інших, зумовлюючи їхнє забруднення.

Стійкість ландшафту до антропогенно-техногенного впливу визначається його здатністю протистояти цьому впливу та зберігати нормальне функціонування (здатність до відновлення після припинення техногенного впливу та повернення зі зміненого стану до нормального режиму функціонування).

Відновлення та самоочищення компонентів ландшафтів – початкова фаза відновлення і біогенезу, і природних ресурсів. Актуальність питань відновлення та самоочищення екосистем пов'язана з глобалізацією антропогенно-техногенного впливу на довкілля та потреби побудови науково обґрунтованих відносин з довкіллям. Це усвідомлення антропогенно-техногенної стійкості ландшафту порушує питання про її оптимізацію.

Оптимізація цих процесів базується на результатах моніторингу та геоекологічному прогнозуванні стану довкілля.

Завдання ландшафтно-екологічного прогнозування – узагальнення інформації про рівень стійкості ландшафту, умови та динаміку процесів самоочищення. Однак отримання саме цієї інформації є найскладнішою і недостатньо розробленою частиною прогнозування. Складність питання полягає у визначенні комплексного граничного стану ландшафту, що є межею його можливостей до самоочищення та збереження всіх популяцій живих організмів за умов відновлення ландшафту. Комплексність її оцінки в межах ландшафту полягає і в потребі урахування стану біотичного та абіотичних складників кожного компонента ландшафту і всіх векторів антропогенно-техногенного впливу, враховуючи їхній синергізм.

Поняття стійкості ландшафту до антропогенно-техногенного навантаження в межах того чи іншого виду господарської діяльності стикається з визначенням межі екологічного ризику ландшафту. Існує мінімальна величина зовнішнього впливу, що зумовлює відмову екосистеми, – це потенціал саморегуляції природно-територіального комплексу або ландшафту.

Існує багато підходів до визначення граничного рівня можливостей ландшафту до самоочищення та збереження всіх компонентів. Приклад таких оцінок – гранично допустимі концентрації хімічних елементів та групування їх у класи небезпечності за Держстандартом 17.4.1.02-83 «Охорона природи. Ґрунти. Класифікація хімічних речовин для контролю забруднення».

Загальнотеоретична неінформативність цих характеристик полягає в «ландшафтному» підході до їх визначення. ГДК не враховують головного принципу техногенної міграції – когерентності, тому цілком виправданим є уявлення більшості дослідників про їхню недостовірність.

Визначення *меж техногенного екологічного ризику*, що є найсуттєвішим компонентом визначення межі деградації ландшафту, пов'язане передусім з кількісними параметрами хімічного складу його компонентів (в ідеальному варіанті) або таксономічними угрупованнями ландшафтів природного ряду міграції (не порушених техногенними процесами), які прийнято називати *фоновими*.

Визначення *фонових характеристик компонентів* ландшафтів – одне з актуальних питань усіх напрямів екології, але вирішити його можливо лише в межах екологічної геохімії.

Перевищення *достовірного фонового рівня* хімічного показника (фізико-хімічних характеристик, бактеріологічних параметрів, мікро- або макроелементів та ін.) і одного, і цілого комплексу вказує на перехід ландшафту зі стану природного з біогенним рядом міграції до природно-техногенного або суто техногенного з техногенним рядом міграції.

Розраховані на окремих територіях фонові характеристики ландшафтів за методом аналогії переносять на ландшафти території дослідження. Виникнення похибки у розрахунках найчастіше пов'язано, по-перше, з неврахуванням атмосферних викидів, по-друге – з недостатньою деталізацією ландшафтної та ландшафтно-геохімічної структури, що може зумовити некоректне використання методу аналогій і недостатню достовірність кінцевих результатів ландшафтно-екологічних досліджень.

Питання для самоконтролю

1. Яким шляхом надходять до геосистеми основні вхідні потоки речовин?
2. За допомогою яких процесів може реалізуватись самоочищення геосистем?

Методика проведення ландшафтно-екологічних розрахунків та вирішення завдань

Завдання № 1

Визначте, які хімічні елементи будуть концентруватися на кисневому бар'єрі за умови надходження до нього сірководневих вод з показником рН 4,3. За рахунок чого формується даний тип бар'єру? До якого класу геохімічних бар'єрів він належить?

Методичні вказівки до рішення:

Кисневий бар'єр належить до класу фізико-хімічних геохімічних бар'єрів. Він формується за наявності вільного кисню в середовищі та ініціює осадження хімічних елементів з вод, що надходять до бар'єра. В умовах надходження на кисневий бар'єр сірководневих вод з показником рН 4,3, які відносяться до кислих і слабокислих, на даному бар'єрі буде відбуватися концентрування S та Se .

Завдання № 2

Розрахуйте коефіцієнт антропогенної перетвореності території ($K_{ан}$), якщо розподіл земельних ресурсів у її межах за видами угідь становить:

№ п/п	Види землекористування	Площа, га
1	Рілля (богара)	73 671,75
2	Багаторічні насадження (богара)	493,78
3	Луки, пасовища (богара)	2 765,16
4	Зрошувані землі (всього)	6 517,88
5	Ліси	2 666,40
6	Сільська забудова	1 975,11
7	Міська забудова	1 678,85

8	Землі промислового призначення	49,38
9	Водосховища, канали	8 196,72
10	Болота, плавні, заболочені землі	0,00
11	Природні заповідні території	740,67

За отриманим результатом оцініть рівень трансформації природних ландшафтів.

Методичні вказівки до рішення:

Для оцінки коефіцієнта антропогенної перетвореності (K_{an}) скористаємося формулою Шищенка:

$$K_{an} = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i \cdot q_i \cdot p_i)}{100},$$

де r_i – ранг антропогенно-техногенного перетворення;

q_i – індекс глибини перетворення;

p_i – площа рангу у %;

n – кількість ділянок у межах контуру території.

Для підстановки у формулу Шищенка необхідних даних (r_i та q_i), скористаємось таблицею, де відображені значення показників рангу та індексу антропогенно-техногенного перетворення території залежно від виду ландшафту.

Площі рангів у даному завданні наведені у гектарах, тому перераховуємо площу кожного рангу у відсотки. Для цього підсумовуємо площі усіх наведених рангів, отримавши таким чином загальну площу території, яку приймаємо за 100%. Після цього відсоток кожного рангу розраховуємо окремо.

Заповнюємо таблицю, де відображуємо усі необхідні значення для підстановки їх у формулу:

№ п/п	Види землекористу- вання	Площа, га	Частка виду землекорис- тування, %	Ранг антропогенно- техногенного перетворення, r_i	Індекс глибини перетворен- ня, q_i	$r_i \times q_i \times p_i$
1	Рілля (богара)	73 671,75	74,60	6	1,25	559,50
2	Багаторічні насадження (богара)	493,78	0,50	5	1,20	3,00
3	Луки, пасовища (богара)	2 765,16	2,80	4	1,15	12,88
4	Зрошувані землі (всього)	6 517,88	6,60	6	1,25	49,50
5	Ліси	2 666,40	2,70	2	1,05	5,67
6	Сільська забудова	1 975,11	2,00	7	1,30	18,20
7	Міська забудова	1 678,85	1,70	8	1,35	18,36
8	Землі промислового призначення	49,38	0,05	10	1,50	0,75
9	Водосховища, канали	8 196,72	8,30	9	1,40	104,58
10	Болота, плавні, заболочені землі	0,00	0,00	3	1,10	0,00
11	Природні заповідні території	740,67	0,75	1	1,00	0,75
	УСЬОГО :	98 755,7	100,00			7,73

Усі проміжні дані, наведені у таблиці, підставляємо у формулу та отримуємо:

$$K_{ан} = 7,73.$$

Щоб за отриманим коефіцієнтом оцінити рівень трансформації природних ландшафтів, скористаємось таблицею шкали антропогенно-техногенного перетворення ландшафту. З даної таблиці випливає, що територія, розрахунком антропогенної трансформації якої ми займалися, відноситься до **надмірно перетворених**.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Василега В.Д. Ландшафтна екологія – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 306 с.
2. Глазовская М.А. Геохимия природных и антропогенных ландшафтов СССР – М., 1988.
3. Гродзинський М. Д. Основи ландшафтної екології – К., 1993.
4. Гродзинський М. Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень – К., 1995.
5. Давиденко В.А., Білявський Г.О., Арсенюк С.Ю. Ландшафтна екологія. – К.: Лібра, 2007. – 280 с.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование – М: Высшая школа, 1991 – 265 с.
7. Одум Ю. Экология (в 2-х томах) – М.: Мир, 1986.
8. Мажайский Ю.А., Тобратов С.А., Дубенок Н.Н., Пожегин Ю.П. Агроэкология техногенно загрязненных ландшафтов. – Смоленск: Маджента, 2003. – 384 с.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта – М., 1975.

ОСНОВНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

До теми 1.2

1. Виділення в геосистемі горизонтів, геомас, геокомпонентів.
2. Фактори самоочищення геосистем.
3. Ландшафтно-геохімічні бар'єри і їх роль в геосистемах.

До теми 1.3

1. Структуроформуючі компоненти при виділенні генетико-морфологічних ЛТС.
2. Розміри ЛТС.
3. Біотичні міграції в ландшафті.

До теми 1.4

1. Лімітуючі ландшафтно-екологічні фактори.
2. Сезонна динаміка в геосистемах. Стекси.

До теми 2.1

1. Зміни геосистем під дією аграрних навантажень.
2. Зміни геосистем під впливом індустриальних і транспортних навантажень.

До теми 2.2

1. Екологічні ризики та їх оцінка.
2. Форми стійкості геосистем.

Типи концентрації елементів на фізико-хімічних бар'єрах
(за О.І. Перельманом)

Фізико-хімічні умови	Склад вод, що надходять до геохімічного бар'єра											
Окислювально-відновні	<i>Кисневі</i>				<i>Глейові</i>				<i>Сірководневі</i>			
Лужно-кислотні	I. Сильнокислі	II. Кислі і слабокислі	III. Нейтральні і слаболужні	IV. Сильнолужні (содові)	V. Сильнокислі	VI. Кислі і слабокислі	VII. Нейтральні і слаболужні	VIII. Сильнолужні (содові)	IX. Сильнокислі	X. Кислі і слабокислі	XI. Нейтральні і слаболужні	XII. Сильнолужні (содові)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Межі pH в зоні гіпергенезу	< 3	3-6,5	6,5-8,5	> 8,5	< 3	3-6,5	6,5-8,5	> 8,5	< 3	3-6,5	6,5-8,5	> 8,5
Елементи, рухомі у водах будь-якого складу	Na, K, Rb, Cs, N, Cl, Br, I											
A – кисневий бар'єр	A1 Fe	A2 Fe Mn Co	A3 Mn	A4 —	A5 Fe	A6 Fe Mn Co	A7 (Fe) Mn Co	A8 (Mn)	A9 (Fe)	A10 S Se	A11 S Se	A12 S Se
B – сульфідний бар'єр	B1 Tl Cu Hg Hb Cd Bi Sn As Sb Mo W U	B2 Tl Mn Co Ni Cu Zn Pb Cd Hg Sn Cr Mo	B3 Tl Cr Mo U Se Re V	B4 Cu Ag Zn Cr Mo U V As	B5 Tl Pb Cd Bi Sn	B6 Tl Fe Co Ni Pb Cu Zn Cd Hg U	B7 Tl Fe Co Ni Cu Zn Cd Hg (Mo) (U)	B8 Tl Cu Zn Cd Hg (Fe, Co, Ni, U)	B9 —	B10 —	B11 —	B12 —

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
С – глейовий бар'єр	C1 <i>Cu</i> <i>U</i> <i>Mo</i>	C2 <i>Cu</i> <i>U</i> <i>Mo</i>	C3 <i>Cu</i> <i>Cr</i> <i>Mo</i> <i>U</i> <i>Re</i> <i>Se</i> <i>V</i>	C4 <i>Cu</i> <i>Ag</i> <i>Cr</i> <i>Mo</i> <i>U</i> <i>Re</i> <i>Se</i> <i>V</i> <i>As</i>	C5 <i>Cu</i> <i>U</i> <i>Mo</i>	C6 <i>Cu</i> <i>U</i> <i>Mo</i>	C7 <i>Mo</i> <i>U</i>	C8 <i>Mo</i> <i>U</i>	C9 —	C10 —	C11 —	C12 —
Д – лужний бар'єр	D1 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Ra</i> <i>Mn</i> <i>Fe</i> <i>Co</i> <i>Ni</i> <i>Cu</i> <i>Zn</i> <i>Pb</i> <i>Cd</i> <i>Hg</i> <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Cr</i> <i>P</i> <i>As</i> <i>U</i>	D2 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Ra</i> <i>Co</i> <i>Ni</i> <i>Cu</i> <i>Zn</i> <i>Pb</i> <i>Cd</i> <i>Hg</i> <i>Be</i> <i>(U)</i>	D3 —	D4 —	D5 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Ra</i> <i>Mn</i> <i>Fe</i> <i>Co</i> <i>Ni</i> <i>Cu</i> <i>Zn</i> <i>Pb</i> <i>Cd</i> <i>Hg</i> <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Cr</i> <i>P</i> <i>As</i> <i>U</i>	D6 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Ra</i> <i>Mn</i> <i>Fe</i> <i>Co</i> <i>Ni</i> <i>Cu</i> <i>Zn</i> <i>Pb</i> <i>Cd</i> <i>Hg</i> <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Cr</i> <i>P</i> <i>As</i> <i>U</i>	D7 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Zn</i> <i>Cd</i> <i>Mn</i> <i>Co</i> <i>Ni</i>	D8 —	D9 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i> <i>Ra</i> <i>Mn</i> <i>Fe</i> <i>Co</i> <i>Ni</i> <i>Zn</i> <i>Pb</i> <i>Cd</i> <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Cr</i> <i>P</i> <i>As</i>	D10 <i>Mg</i> <i>Ca</i> <i>Sr</i> <i>Ba</i>	D11 —	D12 —
Е – кислий бар'єр	E1 —	E2 —	E3 <i>Si</i> <i>Mo</i>	E4 (<i>Cu</i> <i>Zn</i>) <i>Ag</i> <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Sc</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Si</i> (<i>Ge</i>) <i>Zr</i> (<i>Ti</i>) <i>Mo</i> <i>Cr</i> <i>V</i>	E5 —	E6 —	E7 <i>Si</i> <i>Mo</i>	E8 (<i>Cu</i> <i>Zn</i>) <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Sc</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Si</i> <i>Zr</i> (<i>Ti</i>) <i>Mo</i>	E9 —	E10 —	E11 <i>Si</i> <i>Ge</i>	E12 <i>Be</i> <i>Al</i> <i>Ga</i> <i>Sc</i> <i>Y</i> <i>Tr</i> <i>Si</i> (<i>Ge</i>) <i>Zr</i> (<i>Ti</i>)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F – випарний бар'єр	F1 Na	F2 —	F3 Li	F4 Li	F5 Na	F6 —	F7 Li	F8 Li	F9 Li	F10 —	F11 Li	F12 Li
	K		Na	Na	K		Na	Na	Na		Na	Na
	Rb		K	K	Rb		K	K	K		K	K
	Tl		Rb	Rb	Tl		Rb	Rb	Rb		Rb	Rb
	Cl		Tl	Tl	Cl		Tl	Tl	F		F	Tl
	Mg		N	N	Mg		N	N	Cl		Cl	N
	Ca		B	B	Ca		B	B	Br		Br	B
	Sr		F	F	Sr		Cl	F	I		I	Cl
	S		Cl	Cl	S		Br	Cl	Mg		Mg	Br
	Mn		Br	Br	Mn		I	Br	Ca		Ca	I
	Fe		I	I	Fe		Mg	I	Sr		Sr	
	Co		Mg	Cu	Co		Ca	Zn	S		S	
	Ni		Ca	Zn	Ni		Sr					
	Cu		Sr	Mo	Cu		S					
	Zn		S	U	Zn		Zn					
	Pb		Zn	Se	Pb							
	Cd		Mo		Cd							
	Al		U		Al							
	U		V		Mo							
	Mo		Se									
G – сорбційний бар'єр	G1 Al	G2 Si	G3 Li	G4 Li	G5 Al	G6 Si	G7 Li	G8 Li	G9 Al	G10 Sr	G11 Li	G12 Li
	Sc	Ba	Na	Na	Sc	Ba	Na	Na	Sc	Ba	Na	Na
	Ga	Zn	K	K	Ga	Zn	K	K	Ga	(Cl	K	K
	Si	Cd	Rb	Rb	Si	Cd	Rb	Rb	Si	Br	Rb	Rb
	Ge	Ni	Cs	Cs	Ge	Ni	Cs	Cs	Ge	I	Cs	Cs
	P	Co	Tl	Tl	P	Co	Tl	Tl	P	B	(Cl	(Cl
	V	Pb	Zn	(Cl	V	Pb	Zn	(Cl	V	F	Br	Br
	As	Cu	(Cl	Br	As	Cu	(Cl	Br	As	S	I	I
		U	Br	I		U	Br	I		P)	B	B
		Cl	I	B		Cl	I	B			F	F
		Br	B	F		Br	F	F			S	P)
		I	F	S		I	B	S			P)	
		F	S	P		F	S	P)				
		S	P	V		S	P					
		P	V	Mo		P						
		V	Mo	As)		Fe						
		Mo	As)	As)		Mn						
		As										
H – термодинамічний бар'єр	H1 —	H2 Mg	H3 (Li)	H4 Zn	H5 —	H6 Mg	H7 (Li)	H8 Zn	H9 —	H10 Mg	H11 Mg	H12 —
		Ca	Mg	(Cu)		Ca	Mg	(Cu)		Ca	Ca	
		Sr	Ca	(U)		Sr	Ca	U		Sr	Sr	
		Ba	Sr			Ba	Sr			Ba	Ba	
		Mn	Ba			Mn	Ba					
		Zn	Mn			Zn	Mn					
		Pb	Zn			Pb	Zn					
		Co	Pb			Co	Pb					
		Ni				N						
						Fe						

ДОДАТОК В

Значення показника рангу і індексу антропогенно-техногенного перетворення території залежно від виду ландшафту (за методикою Анучина, Лемєшева, Гофмана та Шищенка)

Ранг і індекс перетворення ландшафту	В и д и л а н д ш а ф т у									
	<i>Природоохоронні</i>	<i>Ліси</i>	<i>Болота, плавні</i>	<i>Луки</i>	<i>Сади, виноградники</i>	<i>Рілля</i>	<i>Сільська забудова</i>	<i>Міська забудова</i>	<i>Канали, водосховища</i>	<i>Землі промислового використання</i>
r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q_i	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50

Шкала антропогенно-техногенного перетворення ландшафту

Значення коефіцієнта антропогенно-техногенного перетворення K_{an}	Категорія антропогенно-техногенної трансформації ландшафту
2,00...3,80	слабко перетворені території
3,81...5,30	помірно перетворені
5,31...6,50	середньо перетворені
6,51...7,40	сильно перетворені
7,41...8,00	надмірно перетворені